Interprétation génétique d'un horizon pédologique profond ferro-argillique en forêt de Fontainebleau

par A.-M. ROBIN* et F. DECONINCK**

* Laboratoire de Géologie Dynamique, Université Pierre-et-Marie-Curie, PARIS (VI).

** Laboratoire de Pédologie, Institut géologique, Rijksuniversiteit, GAND (Belgique).

SOMMAIRE

L'étude d'un horizon ocre argileux, situé sur calcaire, à la base d'un dépôt de sables soufflés, a permis de déterminer l'origine complexe de cet horizon :

- *une pédogenèse ancienne, comprenant une décarbonation et la formation de goethite, avant le dépôt des sables soufflés ;*
- *une accumulation d'argile sur l'horizon argileux préexistant, par suite du lessivage des sables soufflés, à partir du Würm.*

I. — INTRODUCTION.

En forêt de Fontainebleau, la série stratigraphique des plateaux se compose de bas en haut des sables Stampiens, du calcaire d'Etampes (Aquitanien) et des sables soufflés quaternaires. A la limite d'extension du calcaire, les sables soufflés reposent directement sur les sables Stampiens.

Quand on est sur calcaire on observe à la surface un horizon argilo-sableux ocre, dont la teneur en argile augmente vers le bas et dont l'épaisseur moyenne est de 25 cm. Quand les sables soufflés reposent directement sur les sables Stampiens, on remarque des bandes horizontales ocres sablo-argileuses et d'épaisseur variable (1 cm à 10 cm) ; celles-ci se succèdent dans la zone de transition entre les deux dépôts et dans le Stampien même.

Pour expliquer la genèse de cet horizon reposant sur le calcaire d'Etampes, la superposition d'un lessivage sur un horizon enrichi de paléosol tronqué avait déjà été proposée par F. MORAND (1966), et l'idée d'une décarbonation citée par F. JOLY (1969). D'autre part, la situation de cet horizon sur calcaire l'apparente à l'horizon β décrit par plusieurs auteurs (BARTELLI et ODELL (1960), BLOOMFIELD (1970), DUCLOUX (1970), ainsi qu'à la Terra fusca observée par GURY et DUCHAUFOUR (1972) et aux argiles à silex de STOOPS et MATHIEU (1970), MATHIEU (1971).

Pour tenter d'éclaircir cette question, nous confronterons les résultats obtenus par plusieurs techniques différentes : observations morphologiques et étude des variations latérales du profil, granulométrie, micromorphologie, étude minéralogique des fractions sableuse et argileuse, et analyses chimiques totales.

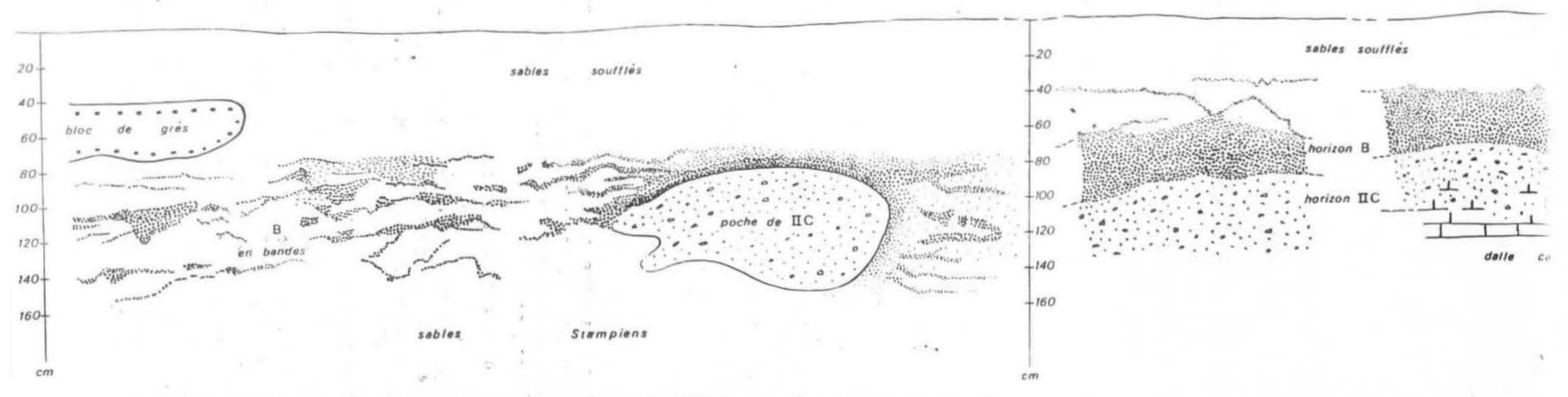


FIGURE I. — *Vue d'ensemble des trois tranchées indiquant la différence morphologique de l'horizon B :*
— argile sableuse sur substrat calcaire ;
— bandes de sable argileux sur Stampien.

CAPTION. — *The «sables soufflés» (which form a quaternary wind-blown deposit of tertiary «sables stampiens») can recover either the calcareous substratum («dalle calcaire» or ctyoturbated «horizon IIC») or directly the sables Stampiens. In the former case the sandy-clayey B horizon is ± 30 cm thick. A distinction (colour, texture) into two subhorizons is sometimes possible during dry weather, the lower part being more clayey. In the latter case the B is present in the form of irregular bands.*

II. — CADRE D'ETUDE ET OBSERVATIONS STRATIGRAPHIQUES.

L'étude a été faite dans une réserve de la forêt de Fontainebleau : la parcelle de la Tillaie. Elle se trouve située sur un des plateaux où le calcaire d'Etampes recouvre les sables Stampiens. Mais nous avons pu y observer la limite de terminaison du calcaire, comme nous l'avons indiqué sur la carte pédologique [BOUCHON, FAILLE, LEMEE, ROBIN, SCHMITT (1973)].

Quand le calcaire d'Etampes existe sous forme de dalle compacte, un mélange cryoturbé de sable et de gravillons calcaires, plus ou moins épais, le surmonte. Dans la zone où la dalle disparaît, la limite entre sables soufflés et sables Stampiens est marquée par la présence de quelques lentilles ou de poches de ce mélange cryoturbé.

Les sables Stampiens, repris par le vent à partir des pentes voisines, ont été « soufflés » au Quaternaire. Ceux-ci recouvrent actuellement le calcaire ou parfois les sables Stampiens directement, quand le calcaire d'Etampes n'existe pas (fig. I).

III. — ETUDE DE TERRAIN.

De très nombreux sondages à la tarière, suivant des transects variés, ont permis de s'assurer de la permanence de cet horizon ocre et de ses variations d'épaisseur et de texture, également de situer la limite de disparition du calcaire. Cependant la mise en évidence s'est faite sur des tranchées où ont été effectués les prélèvements.

DESCRIPTION DES TRANCHEES (fig. I).

TRANCHEE C_1 :

0 à ± 20 cm : **profil de podzol avec des horizons A_1 A_2 B_h et B_s assez nets.**

20 à ± 65 cm : **A'_2 sable gris clair-jaune pâle à brun pâle (2,5 Y 7/3-10 YR 5,5/3)** particulaire ; meuble ; **avec : 1° de nombreuses taches plus claires ou plus foncées, assez nettes et contrastées, irrégulières ; 2° quelques veines fines (1 à 5 mm d'épaisseur) brun vif à rouge jaunâtre (7,5 YR 5/7-5 YR 5/6)** argilo-sableuses, d'allure irrégulière mais à tendance horizontale ou subhorizontale et pouvant rejoindre l'horizon sous-jacent ; transition nette à distincte et irrégulière.

65 à ± 85 cm : **B' : argile sableuse** brun vif à rouge jaunâtre (7,5 YR 5/7 - 5 YR 5/6) **polyédrique subanguleuse moyenne ;** ferme ; des revêtements argileux sur les polyèdres ; nombreuses racines ; transition très nette à graduelle et ondulée.

+ 85 cm : **IIC : sable et cailloutis calcaire** jaune (10 YR 7/6 - 6/6) parfois plus brunâtre, reposant à une profondeur variable sur la dalle calcaire.

TRANCHEE C_2 :

0 à ± 15 cm : **A_1 sable gris**, gris-brun pâle à gris foncé (10 YR 6/1,5-3,5/1) humifère, particulaire ; très nombreuses racines et radicelles ; transition nette et régulière.

15 à ± 55 cm : **A_2 sable** brun très pâle à brun pâle (10 YR 7,5/3-6/3) très friable ; avec, vers la base à l'approche du B, quelques petites taches brun vif, argileuses, nettes, contrastées et irrégulières ; transition nette à distincte et irrégulière.

55 à ± 85 cm : **B : argile sableuse** brun vif (7,5 YR 5/8 - 5/6) surmontée localement d'une zone de ± 10 cm d'épaisseur un peu moins argileuse et de couleur plus claire ; polyédrique subangulaire moyenne, ferme ; revêtements argileux sur les polyèdres ; nombreuses racines ; transition très nette à graduelle, ondulée.

+ 85 cm : **IIC : sable et cailloutis calcaire** brun très pâle à brun jaunâtre clair (10 YR 7/4 - 6/4) ; transition très progressive avec la dalle altérée à ± 1 m.

TRANCHEE S :

0 à ± 20 cm : A_1 et B_h assez nets.

20 à ± 90 cm : **A'_2 sable** brun très pâle à brun jaunâtre clair (10 YR 7/3 - 6/4), particulaire, meuble ; transition très nette à distincte.

Le A'_2 repose à partir de 90 cm de profondeur :

— soit sur un horizon sableux contenant des bandes plus argileuses brun vif à rouge jaunâtre (7,5 YR 5/6 - 5 YR 5/6) de 1 à 10 cm d'épaisseur, surtout horizontales, parfois obliques ou anastomosées, massives, fermes, très nettes, très contrastées, se succédant jusqu'à une profondeur variable. Le sable se trouvant entre les veines devient de plus en plus clair en profondeur (sable Stampien) ;

— soit sur un horizon B brun vif à rouge jaunâtre (7,5 YR 5/6 - 5 YR 5/6) mais de couleur variable, plus argileux, à tendance polyèdrique, de 10 à 20 cm d'épaisseur, dont la transition avec les lentilles de gravillons calcaires (poches de IIC cryoturbées, éparses dans le profil) est très nette à graduelle.

Quand le sable Stampien est juste sous une grosse poche de IIC, il est parfaitement blanc.

IV. — METHODES D'ANALYSES.

1° GRANULOMETRIE.

De nombreux profils ont été étudiés par tranches assez minces dans le but de déceler les différences entre les horizons d'une part, et à l'intérieur des horizons d'autre part.

Les résultats ont été obtenus par la méthode classique à la pipette de ROBINSON.

2° SEPARATION D'ARGILE.

L'argile a été séparée par dispersion à NH_3, et floculation par HCl à $\pm$ pH 6.

3° DIFFRACTION X.

1° Diffraction de poudre sur échantillons saturés NH_4^+, non traités au dithionite, avec radiation Co $K\alpha$.

2° Diffraction de lames orientées, séchées à l'air après traitement au dithionite, et saturation soit Mg^{++}, soit K^+, avec radiation $CuK\alpha$. Les lames des échantillons Mg^{++} ont été glycolées sous vide, dans une atmosphère de glycol. Les lames des échantillons K^+ ont été chauffées à différentes températures dans l'atmosphère ambiante, chaque fois durant 2 heures.

4° ANALYSES CHIMIQUES TOTALES.

Deux traitements ont été faits :

1° Attaque répétée 2 ou 3 fois avec un mélange de HF + HNO_3 + $HClO_4$.

Après la reprise par HCl, les éléments Na, K, Ca, Mg sont dosés par absorption atomique, Fe par colorimétrie avec l'acide sulfosalicilique.

2° Fusion de 100 mg d'argile avec un mélange de $LiCO_3$ + H_3BO_3 à 1.000°. Le culot de fusion est repris par HCl ; Al et Si sont dosés dans la solution par absorption atomique, Ti par colorimétrie avec l'acide chromotropique.

V. — RESULTATS ET DISCUSSION.

1° MORPHOLOGIE DES PROFILS.

— Les sables soufflés de texture essentiellement sableuse ont une épaisseur variant en moyenne de 40 cm à 1 m. Il faut attirer l'attention sur la présence de veines minces, de l'ordre de 1 à 5 mm d'épaisseur, argilo-sableuses, assez irrégulières qui peuvent sillonner les sables soufflés plus ou moins horizontalement et rejoignant parfois la surface du B sous-jacent (fig. II).

— L'horizon B argilo-sableux sur calcaire varie en général entre 15 et 30 cm d'épaisseur, mais on peut observer des poches de plus de 1 m (fig. III). La partie infé-

rieure de cet horizon a une texture plus argileuse et une couleur un peu plus foncée (par temps sec) que la partie supérieure.

Des transects effectués sur le reste du plateau et sur les autres plateaux ont révélé la permanence de ce B. De même, 50 m plus bas, dans la ville de Fontainebleau, on le retrouve sur le mélange calcaire IIC qui, dévalé des plateaux à une phase périglaciaire, s'est déposée en très forte épaisseur sur le Stampien.

— Quand le calcaire est absent, le B en bandes est plutôt sablo-argileux, donc plus sableux que le B sur calcaire. Et les bandes varient du centimètre à la dizaine de centimètres, devenant très contrastées dans le Stampien (fig. IV).

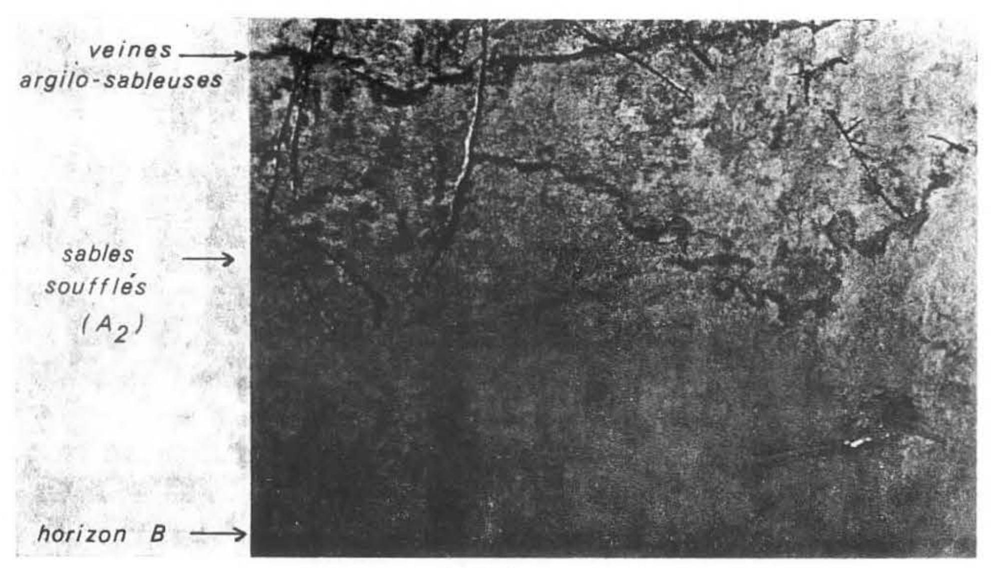


FIGURE II

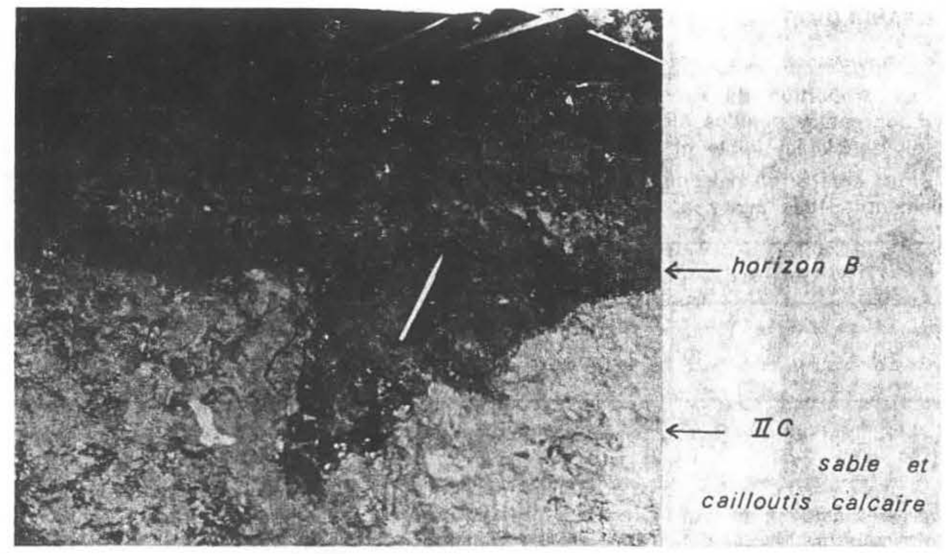


FIGURE III

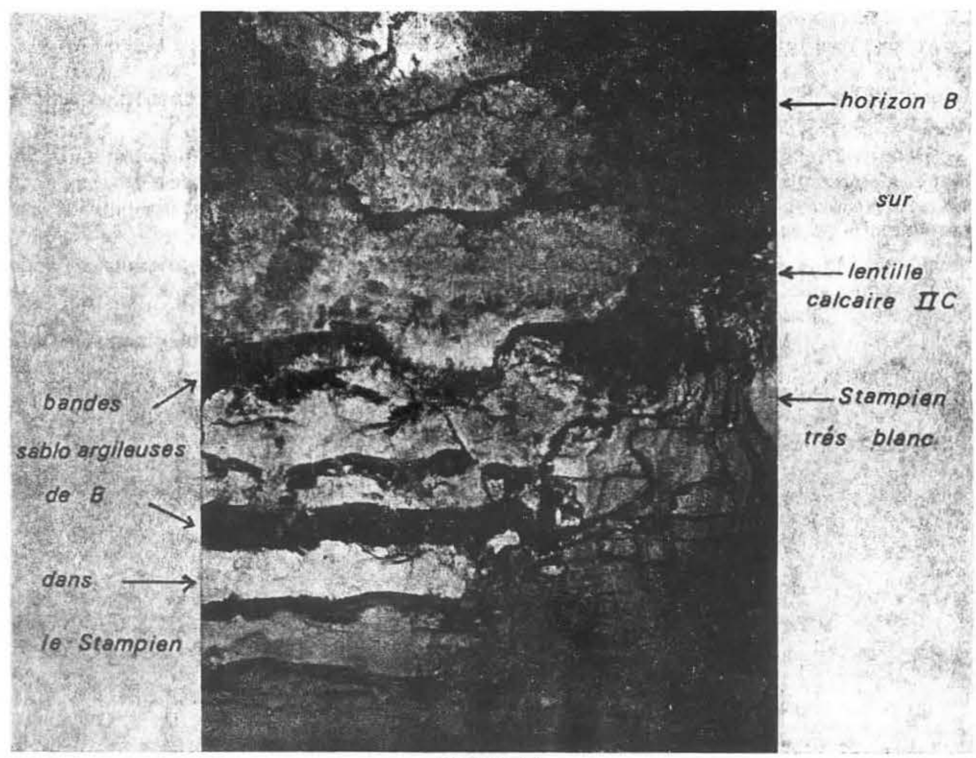


FIGURE IV

FIGURE II. — *Veines fines argilo-sableuses irrégulières dans la partie supérieure des sables soufflés, au-dessus de l'horizon B sur calcaire ou en bandes*
CAPTION. — *Thin (1 to 5 mm) horizontal ochreous clayey veins of irregular shape can be present in the wind-blown sands and join the surface of the B horizon (They indicate a last illuviation)*

FIGURE III. — *Horizon B sur substratum calcaire (sables soufflés sur calcaire).*
CAPTION. — *When the B horizon is upon calcareous substratum it can form rounded pockets. This proves its «ancient» character*

FIGURE IV. — *Horizon B en bandes (sables soufflés sur sables Stampiens).*
CAPTION. — *When the wind-blown sands directly cover the Stampien's sands the B is in bands, 1 to 10 cm thick, very contrasted in Stampien*

2° **GRANULOMETRIE** (tableau 1).

Comparaison des fractions sableuses et limoneuses.

La proportion de sables compris entre 100 et 200 µ est en moyenne de 65 % pour les sables soufflés alors que les sables stampiens en contiennent au moins 70 %. La différence est faible et indique bien la parenté.

Par contre on voit mieux une différence en fractionnant plus finement ce pic dominant : nous avons approximativement :

	100 µ – 125 µ	125 µ – 160 µ	160 µ – 200 µ
Sables soufflés %	23	22	20
Sables Stampiens %	18	27	27

Les fractions sableuses les plus fines ont été plus facilement reprises et soufflées par le vent.

Parallèlement, la fraction de sables grossiers (200-2.000 µ) qui représente 20 à 30 % dans le Stampien, excède rarement 10 % pour les soufflés. Par contre le Stampien a une teneur pratiquement nulle en argiles et limons alors que les soufflés en contiennent sensiblement.

TABLEAU 1 : *Résultats granulométriques en % de terre sèche*

TRANCHEE C_1

Echantillons	A	LF	LS	SF	SG
10 S. soufflés	2,1	5,3	5,7	78,2	8,7
11 Veine ocre	7,4	6,4	5,6	71,9	8,7
12 S. soufflés	2,1	5,3	6,6	77	9
13 Veine ocre	13,3	5,3	5,9	67,5	8
14 S. soufflés	3,1	6	7	75	8,8
15 B. sup.	17,8	6,1	6,6	62	7,4
16 B. centre	15,4	15,9	6,3	55,3	7,1
17 B. inf.	28,2	5,4	6	52,6	7,8
18 B IIC	15,8	9,5	11,1	55,5	8,1

TRANCHEE C_2

Echantillons	A	LF	LS	SF	SG
21. B sup.	19,5	5,7	4,6	61,1	8,9
22 B centre	27,6	5,2	3,7	55,3	8,3
23 B inf.	33,4	2,7	2,6	51,4	9,8
24 IIC	7	7	2,5	64,8	18,9

TRANCHEE S

Echantillons	A	LF	LS	SF	SG
30 B	12,6	5,1	3,6	67,5	10,6
31 B. bande	8,8	0,5	0,05	77,6	11,8
32 B. bande	11,8	1,1	0,05	74,8	10,9

A < 2 μ   LS 20 - 50 μ
LF 2 - 20 μ   SF 50 - 200 μ
SG 200 - 2.000 μ

Si donc les sables soufflés peuvent se différencier du Stampien il faut préciser d'autre part que la composition granulométrique des soufflés varie un peu suivant les secteurs, en particulier pour la fraction des limons : 4 à 7 % de limons fins en général, 10 % dans le secteur sud de la parcelle étudiée. Nous avons aussi remarqué que les limons (2-20 μ) pouvaient se trouver en plus forte proportion dans certains horizons d'un même profil : dans un cas c'est la base de l'A_2 et au sommet du B ; dans un autre cas c'est au centre du B. Ceci indique une irrégularité du dépôt éolien.

Si maintenant l'on compare le squelette des sables soufflés et du B en considérant les courbes cumulatives et indice de similitude obtenus sur des résultats ramenés à 100 après retrait des argiles, on constate la parenté des deux : les indices de similitude (somme des fractions granulométriques successives en prenant pour chacune le nombre le plus petit dans la comparaison de deux horizons) sont pratiquement toujours supérieurs à 90, souvent même à 95 (pour une perfection de 100). L'accumulation d'argiles observée dans l'horizon B peut donc bien venir du lessivage des sables soufflés, ce qui ne signifie pas que toutes les argiles présentes dans le B soient issues du lessivage.

Les granulométries normales et décarbonatées du mélange sous-jacent de cailloutis calcaires (IIC) indiquent aussi à ce niveau une parenté possible avec le B ; l'indice de similitude se situe autour de 90, parfois moins : l'irrégularité de l'homogénéité vient de la variation de dépôt du niveau IIC. Cependant l'indice de similitude est suffisamment bon pour admettre une parenté du IIC et du B, ce qui peut étayer l'hypothèse d'une part de décarbonation.

Comparaison des fractions argileuses.

Les sables soufflés précités contiennent généralement 2 à 5 % d'argile. Au niveau des veines horizontales fines (qui peuvent sillonner cet A'_2) la teneur en argile est nettement supérieure (10 %) ; elle semble augmenter progressivement suivant la profondeur des veines.

La surface de l'horizon B sur calcaire a une teneur du même ordre, légèrement supérieure (15 %). Et la partie inférieure du B, plus ou moins épaisse, a presque toujours une teneur en argile très élevée (30 %).

Dans le B en bandes, quand les sables soufflés reposent directement sur le Stampien, la teneur en argile des bandes est toujours plus faible (10 à 15 %).

Minéraux lourds.

L'observation révèle le même cortège de minéraux : tourmaline, staurotide, anatase, disthène, épidote, zircon, rutile que décrivaient F. MORAND, J. RIVELINE, BAUER et J. TRICHET (1968). On le retrouve dans les sables soufflés comme dans les horizons B. Nous n'avons pas établi de distinction entre les deux.

3° MICROMORPHOLOGIE.

L'observation des lames dans les différentes sortes de B donne des indications intéressantes qu'il est possible de résumer assez rapidement.

Dans les minces veines horizontales argilo-sableuses des sables soufflés comme dans le B en bandes à la base des sables soufflés sur le Stampien, le plasma argilo-ferrique se trouve exclusivement sous forme d'argillanes presque intacts. Ceux-ci montrent une zonation très nette en stries concentriques d'accumulations successives, présentant parfois des décollements (fig. V).

Lorsque le B repose sur calcaire, l'aspect de l'argile et du fer est différent de celui des veines. Le squelette quartzeux forme avec le plasma un assemblage élémentaire porphyrique. Mais le plasma est présent sous deux formes bien distinctes (fig. VI) :

— un fond matriciel avec un assemblage plasmique asepique et dans lequel on distingue plus ou moins nettement des papules conservant partiellement la zonation d'anciens argillanes. Ce fond matriciel donne l'impression d'être formé, au moins en partie, par déformation et destruction d'argillanes sous l'effet de pressions mécaniques ou d'activité biologique.

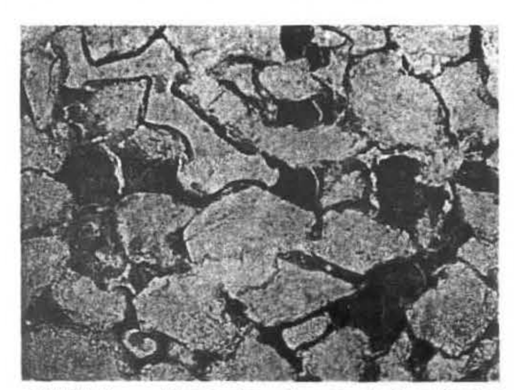


FIGURE V. — *Plasma des veines ou du B en bandes*
CAPTION. — *The argilo-ferric plasma of the thin veins in wind-blown sands and of the B bands between «wind-blown» and «Stampien» forms argillans with distinct zonation*

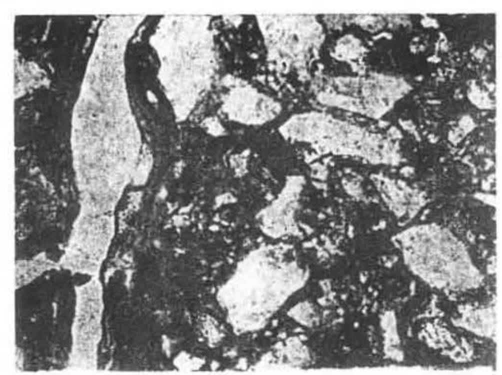


FIGURE VI. — *Plasma du B sur calcaire.*
CAPTION. — *The plasma of B horizon upon calcareous substratum forms a porphyrous fabric with the quartzic squeleton. The plasma is present in two forms: a matrix with an asepic plasmic fabric and zoned argillans*

— des traits pédologiques sous la forme d'écailles orientées et surtout d'argillanes ou ferri-argillanes zonés épais tapissant les parois des vides p.e. dans les sections de chenaux ou les fentes déviées.

Il ne semble pas y avoir de différence micromorphologique entre les parties supérieure et inférieure du B, sauf pour la densité en plasma qui semble être plus forte pour la partie inférieure.

En conclusion nous pouvons dire que, dans les sables, le complexe argilo-ferrique se présente essentiellement sous forme de cutanes d'illuviation tandis que, sur calcaire, les ferriargillanes sont pris dans un plasma asepique. Il semble donc que, dans les deux cas, il y ait bien une illuviation, mais sur calcaire on ne peut pas conclure avec certitude que toute l'argile est illuviale.

4° DIFFRACTION AUX RAYONS X.

Les spectres de diffraction X des différents horizons montrent une évolution très frappante (fig. VII, VIII, IX et X).

Les échantillons (10 à 15) pris dans la tranchée C_1 ont une composition identique dans les horizons des sables soufflés et la partie supérieure du B ocre : beaucoup de quartz et de kaolinite, un minéral à 14 Å, qui ne gonfle pas au glycol, et qui saturé au K^+, ne se ferme qu'après chauffage à 400°, ainsi qu'une illite. C'est à un intergrade chlorite-vermiculite (C-V) que le minéral à 14 Å s'apparente le mieux.

Les écantillons (16, 17, 18) pris dans le centre et la partie inférieure du B ocre ont beaucoup moins de quartz, et peut-être aussi moins de kaolinite, une prédominance d'un minéral gonflant, mais qui se ferme en grande partie par saturation au K^+ sans chauffage préalable, une illite, et de la goethite. Ce dernier minéral est complètement absent dans les horizons supérieurs et aussi dans le calcaire.

Les résidus de blocs calcaires après traitement à HCl se composent essentiellement d'un minéral gonflant et d'un peu de quartz.

Dans la tranchée C_2, les échantillons pris dans le B ocre et le IIC ont une composition identique à celle du B ocre de la tranchée C_1 avec une quantité encore appréciable de quartz dans l'échantillon supérieur (21), tandis que la goethite est moins nette dans ce même échantillon. Dans les deux échantillons du centre du B ocre (22 et 23), la goethite est bien marquée, quoique moins nette dans l'échantillon inférieur. Dans ce dernier échantillon le quartz devient à nouveau plus important.

Dans la tranchée S, le quartz domine dans les 3 échantillons étudiés, quoique moins nettement que dans les sables soufflés, et le minéral à 14 Å semble avoir deux composants : une fraction qui gonfle au glycol et se ferme au K^+, c'est-à-dire avec un comportement identique au minéral du B inférieur sur calcaire, une autre fraction qui ne gonfle

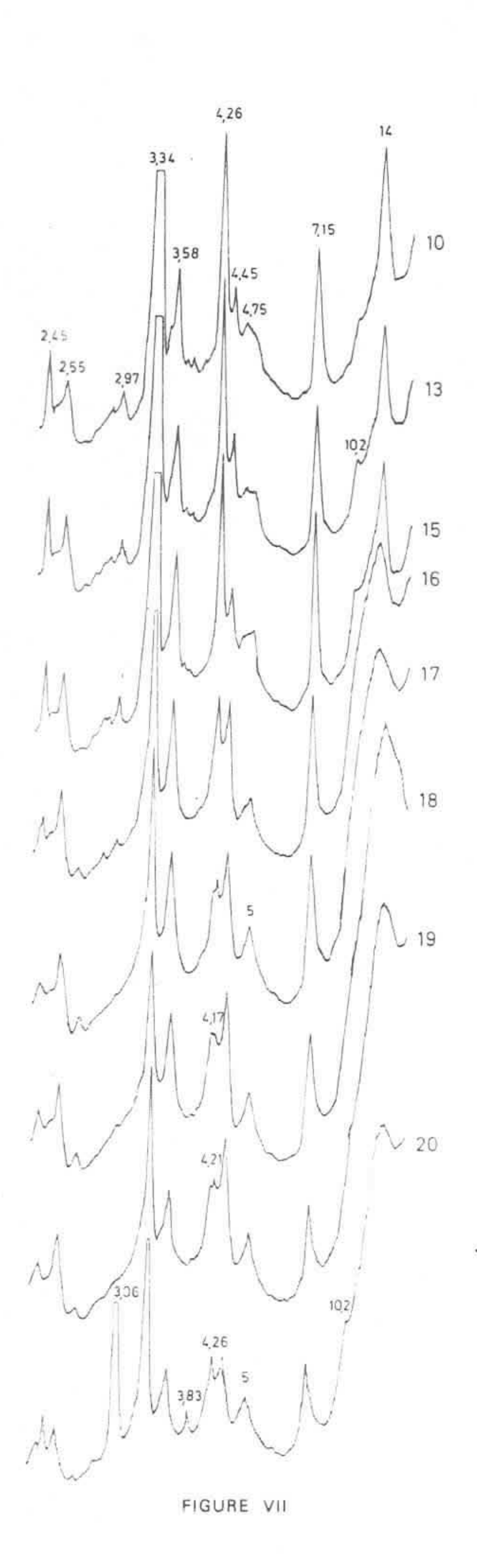


FIGURE VII

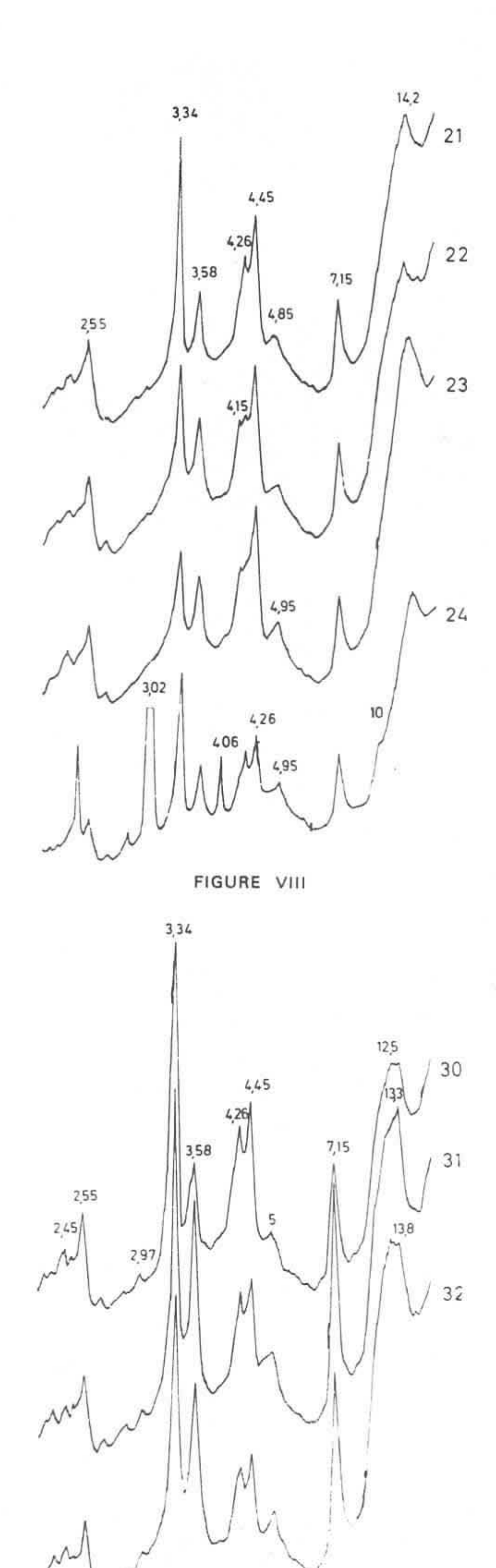
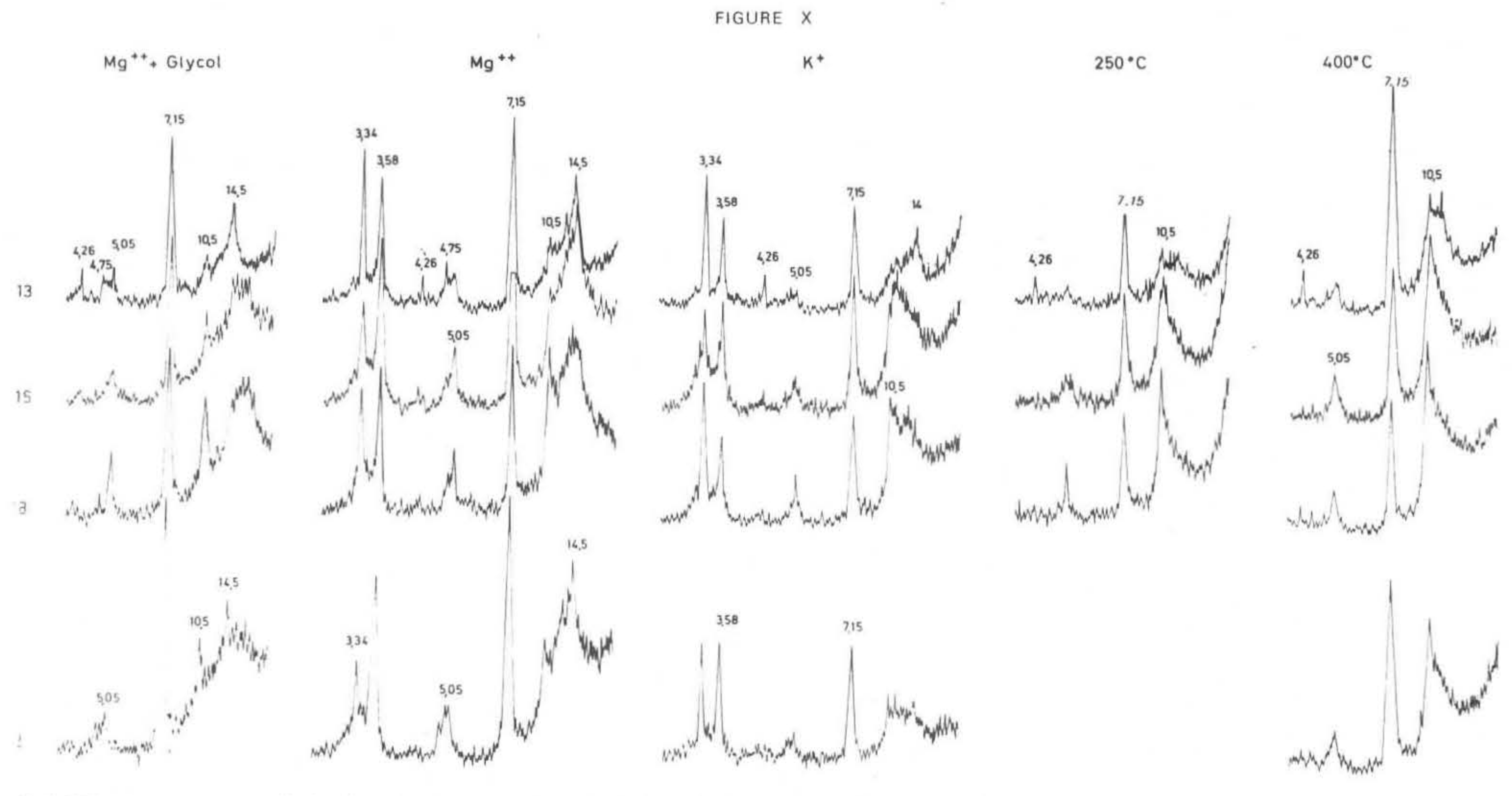


FIGURE VIII

FIGURE IX



FIGURES VII, VIII, IX. — *RX. Co K_α. Poudre NH_4+. VII. tranchée C_1. VIII. tranchée C_2. IX. tranchée S.*
CAPTION. — *RX. Co K_α. Powder NH_4+. VII. cut C_1. VIII. cut C_2. IX. cut S.*

FIGURE X. — *RX. Cu K_α. Orienté. tranchées C_1 (13-16-18) et S (32).* CAPTION. — *RX. Cu K_α. Oriented. Cuts C_1 (13-16-18) and S (32).*

pas au glycol et ne se ferme pas au K+, c'est-à-dire avec un comportement identique à celui du minéral à 14 Å des sables soufflés. La présence de goethite est nette seulement dans un échantillon.

Ces trois échantillons pris à un endroit où le calcaire fait défaut, mais au niveau de la transition entre sables soufflés et sables stampiens, semblent donc avoir une composition comprenant une fraction identique à celle des sables soufflés et une fraction identique à celle de la partie centrale et inférieure du B sur calcaire.

On peut conclure que la diffraction montre une différence très nette de composition de la fraction d'argile des sables soufflés, et de la partie supérieure du B d'une part, avec celle de la partie inférieure du B et du calcaire d'autre part. En outre, la partie inférieure du B contient une quantité appréciable de goethite, qui est absente aussi bien dans les sables soufflés que dans la partie supérieure du B et dans le calcaire.

Dans le profil où le calcaire est absent la composition minéralogique semble être intermédiaire, avec un minéral gonflant et un minéral à 14 Å non gonflant.

5° **ANALYSES CHIMIQUES TOTALES DES ARGILES** (tableau 2).

Ces analyses montrent une différence très nette entre, d'une part, l'échantillon provenant des sables soufflés et d'autre part les différents échantillons provenant du B sur calcaire tandis que l'échantillon de la tranchée S a une composition chimique intermédiaire mais plus proche du B sur calcaire.

TABLEAU 2 : *Composition chimique totale de quelques échantillons de la fraction* $< 2\ \mu$

Echantillons / Eléments	13	16	18	19	32
SiO_2	53.12	46.32	45.20	45.51	45.58
TiO_2	1.28	0.88	0.78	0.64	1.53
Fe_2O_3	7.53	10.94	11.08	11.24	11.63
K_2O	2.41	1.86	1.98	1.79	2.03
Na_2O	0.27	0.14	0.13	0.11	0.13
CaO	0.54	1.02	1.21	1.33	0.35
MgO	1.04	1.39	1.49	1.39	1.40
Al_2O_3	22.67	22.67	21.56	22.33	22.67
H_2O	12.-	15.50	16.-	16.50	13.75
Total	100.86	100.72	99.43	100.84	98.97

13 : Veines argileuses dans les sables soufflés.
16 : Centre du B sur calcaire.
18 : Base du B sur calcaire.
19 : Poche de B.
32 : B en bandes, sables soufflés sur sables Stampiens (tranchée S).

SiO_2 et K_2O sont nettement plus élevés dans les sables soufflés que dans les 4 autres, tandis que Fe_2O_3, MgO et H_2O sont plus bas dans les sables soufflés.

Ces analyses confirment donc les conclusions de la diffraction, à savoir que les argiles des sables soufflés et de la partie supérieure du B ont une composition différente de celles présentes dans les parties centrale et inférieure du B et dans le calcaire.

Il y a deux hypothèses possibles pour expliquer cette différence de composition.

1° Il s'agit d'un même matériau argileux originel, mais qui par suite de l'évolution pédogénétique, s'est transformé dans la partie supérieure du profil.

2° Il s'agit de deux matériaux argileux différents à l'origine.

Dans l'hypothèse 1, il faut admettre que le minéral non glonflant à 14 Å est formé par transformation soit de l'illite soit du minéral gonflant.

La transformation à partir de l'illite est à exclure, à priori, puisque ce processus devrait s'accompagner d'une diminution de la teneur en K_2O tandis que nous constatons une augmentation de cette teneur.

La transformation du minéral gonflant en minéral non gonflant est en principe possible, mais ne peut pas être seule en cause, parce qu'elle ne peut pas expliquer l'augmentation de la teneur en SiO_2 et K_2O, tandis que Al_2O_3 reste constant.

On pourrait imaginer que cette transformation est précédée d'une mobilisation préférentielle d'une partie du minéral gonflant, à partir de tous les horizons des sables soufflés et aussi à partir de la partie supérieure du B ocre vers les parties centrale et inférieure du B ocre. La part du minéral gonflant non mobilisé serait alors transformée en minéral non gonflant. Mais dans ce cas, il faut admettre que la transformation est identique dans tous les horizons de sables soufflés et dans la partie supérieure du B, alors que les conditions sont certainement fort différentes en surface et en profondeur, et d'autre part les conditions devraient changer très fortement au milieu du B.

Ceci n'explique pas non plus pourquoi la goethite existerait seulement à partir d'une certaine profondeur dans le B et pas dès la surface de cet horizon.

Nous pouvons conclure que l'hypothèse 1 est difficilement admissible sinon impossible.

Il semble donc falloir admettre que la fraction $< 2\mu$ de l'horizon B argilo-sableux soit composée de deux matériaux différents à l'origine :

— Le matériau inférieur du B a une composition comparable à celle de la fraction non carbonatée de l'horizon IIC (ou du calcaire) avec en outre de la goethite ;

— Le matériau supérieur du B n'a pas de smectite ni de goethite, mais un minéral à 14 Å de caractère assez chloritique, et nettement plus de quartz que la partie inférieure.

La partie inférieure du B semble donc dériver du calcaire, et la partie supérieure des sables soufflés.

6° **ARCHEOLOGIE.**

En dernier lieu une découverte archéologique permet une approche de datation qui répond en partie aux hypothèses de F. MORAND (1967), et concorde avec les observations de H. ALIMEN (1962) et J. DUPUIS (1961).

Il s'agit d'une industrie de silex taillés répartie sur 60 cm d'épaisseur dans l'horizon B en bandes à $\pm$ 2 m de profondeur : le gisement se trouve effectivement en un point où les sables soufflés surmontent directement les sables Stampiens. Notons que très près de cet emplacement, à cinq mètres de là, nous avons trouvé à la tarière le mélange de cailloutis calcaires, sans doute sous forme de lentilles irrégulières. Le gisement est effectivement très proche de la ligne limite marquant la disparition du calcaire d'Etampes (carte des sols, 1973).

Cette industrie est composée principalement d'éclats de silex et de quelques silex taillés qui sont typiquement « Moustérien à débitage Levallois ». (A.-M. ROBIN, 1974.) Le dépôt de sables soufflés est donc postérieur au Moustérien. Et l'accumulation argilo-ferrique, sous forme d'un B en bandes très nettes au niveau du gisement s'est effectué par la suite. Cela permet d'exclure l'hypothèse de la formation de l'horizon B en bandes au Riss et situe sa pédogénèse au Würm et au Postglaciaire.

CONCLUSIONS.

Plusieurs observations concordent et permettent certaines déductions.

— La texture nettement plus argileuse et la compacité plus forte de l'horizon ocre contre le calcaire, l'existence de cet horizon parfois sous forme de poches typiques, la parenté granulométrique possible avec le IIC et surtout la présence d'un minéral gonflant dans la partie inférieure de l'horizon ocre, dans le IIC et le calcaire permettent de penser que la partie inférieure de cet horizon s'est formée par décarbonatation.

— Par ailleurs, les rayons X et les analyses chimiques totales des argiles indiquent bien une différence nette avec la partie supérieure du B. La micromorphologie met en évidence une accumulation d'argile par illuviation. Ce phénomène de lessivage se surimpose à la décarbonatation, ce qui s'explique logiquement, l'intergrade CV provenant certainement des sables soufflés. On peut donc tout de même parler d'un horizon B d'accumulation.

— La présence de taches claires dans les sables soufflés (ou A'_2) indique sans doute une dégradation. Certaines petites taches argileuses à la surface du B semblent représenter des reliquats de B, conséquents peut-être de la même période de dégradation.

— Les minces veines argileuses (mm) qui sillonnent parfois horizontalement l'A'_2 et recoupent les taches claires indiquent sans doute une légère reprise du lessivage.

— Décarbonatation et lessivage responsables de la formation de l'horizon argilo-sableux sur calcaire ont-ils été deux phénomènes successifs ou contemporains, autrement dit, la décarbonatation s'est-elle faite durant une période d'affleurement du calcaire ou durant une période où le calcaire était déjà recouvert par les sables soufflés ?

La permanence du B et le passage progressif de la partie supérieure à la partie inférieure du B, la parenté granulométrique viendraient plutôt étayer la dernière hypothèse : décarbonatation par l'eau traversant les sables soufflés.

Cependant la parenté granulométrique est toujours plus parfaite entre les horizons A'_2 (ou A_2) et B supérieur qu'entre B supérieur et B inférieur. Et si la différence d'aspect n'est pas très nette entre les deux parties du B, on peut penser que cela est dû à une homogénéisation progressive du profil pédologique ultérieur. De plus l'irrégularité de la morphologie de cet horizon B, en particulier sa présence sous forme de poches comblées, semble bien en indiquer le caractère « paléo ». En outre, si la formation des parties supérieure et inférieure s'était faite à la même période, on ne voit pas pourquoi, dans les mêmes conditions de milieu, le fer se serait cristallisé en goethite dans la partie inférieure et non au sommet de l'horizon.

Ces derniers arguments indiquent plutôt que la décarbonatation se serait faite dans un premier temps, à découvert, et qu'il s'agit donc d'une ancienne pédogénèse.

— Quand le calcaire est absent, les bandes de B dans la zone de transition entre sables soufflés et sables Stampiens montrent exclusivement une illuviation. La composition minéralogique de l'argile de ces bandes est intermédiaire entre celle des sables soufflés et de la partie supérieure du B d'une part, et celle de la partie inférieure du B d'autre part. Il doit donc s'agir d'une accumulation qui comprend une fraction provenant des sables soufflés et une fraction ayant la même genèse que le matériau inférieur du B sur calcaire. Pourtant il n'est pas possible de savoir si cette dernière fraction provient d'un dépôt calcaire qui surmontait le sable Stampien ou si elle est due à un lessivage latéral à partir du B développé sur lentille calcaire.

La position des bandes dans le profil (fig. I, tranchée S) semble indiquer que le dernier cas est le plus probable.

La présence d'une industrie de silex au milieu de ces bandes indique que leur formation s'est faite au Würm ou au Postglaciaire.

REMERCIEMENTS

— Nous tenons à remercier particulièrement A. COMBEAU qui, s'étant intéressé à ce problème, a permis que soient réalisées dans les laboratoires de l'O.R.S.T.O.M.

— les analyses granulométriques obtenues par M[me] E. GUERIN et M[me] E. DRIFFORT ;

— certaines diffractions X réalisées par M[lle] G. FUSIL, du Service de M. PINTA, à qui nous savons gré d'en avoir permis l'exécution.

— Nous remercions également F. MELIERES, du Laboratoire de Géologie Dynamique, Paris (VI), pour les diffractions des échantillons de calcaire, ainsi que M[lle] S. DUPLAIX pour l'examen des minéraux lourds.

— Nous n'oublions pas M. BEDENEAU (C.N.R.F.) qui nous a considérablement aidés sur le terrain.

— Nous remercions aussi le personnel du Laboratoire de Pédologie et de la Salle de dessin du Centre de Cartographie à Gand pour les analyses chimiques et les dessins des diagrammes de diffraction.

(Reçu pour publication, mai 1975.)

ABSTRACT

GENETIC INTERPRETATION OF ONE DEEP FERRI-ARGILLIC SOIL HORIZON IN FONTAINEBLEAU FOREST

The study of an ochreous argillaceous horizon, present at the top of a calcareous substratum, and underneath wind-blown sands, has allowed to determine its complex origin. Granulometry, clay mineralogy and total chemical composition clearly show a difference in origin between the upper and the lower part of the horizon, although in the field it is not always possible to distinguish two subhorizons.

The lower part of the horizon has been formed by decarbonatation as it is proved by:

1° *the more clayey texture in the lower part* (tableau 1), *the morphology of the horizon sometimes forming rounded pockets* (figure III) ;

2° *the similarity in mineralogical composition of the lower part of the horizon with the non-carbonate fraction of the underlying calcareous substratum (presence of an expandable mineral* fig VII... X).

The presence of goethite in the lower part and its absence in the upper part show that this lower part has been formed during an old pedogenesis, before the deposition of the wind-blown sands.

The upper part of the horizon has originated by eluviation of clay out of the aeolian sands and accumulation above the preexisting clayey horizon, as the micromorphology (fig. VI) *shows it off. An archeological discovery allows to specify that this last process started probably during the Würm period.*

Bibliographie

ALIMEN H. (1962). — Considération géologique sur la Station préhistorique du « Cirque de la Patrie », près de Nemours (Seine-et-Marne). **Mém. S.P.F.**, t. VI, pp. 29-60, 9 f., 3 t., 2 pl.

BARTELLI L.J. et ODELL R.T. (1960). — Fields studies. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.**, 24, 4 fig., pp. 388-390.

BLOOMFIELD C. (1970). — Beta horizons in Hertfordshire soils. Pedology Department. Rep. Rothamsted exp. Stn. for 1970, part. 1, pp. 64-81.

BOUCHON J., FAILLE A., LEMEE G., ROBIN A.-M., SCHMITT A. (1973). — Notice sur les cartes des sols, du peuplement forestier et des groupements végétaux de la réserve biologique de La Tillaie, en forêt de Fontainebleau. Orsay, 1973.

DUCLOUX J. (1970). — L'horizon Béta des sols lessivés sur substratum calcaire de la plaine poitevine. **A.F.E.S.**, 3, pp. 15 à 25.

DUPUIS J. (1961). — Les sables loessiques des stations préhistoriques de la vallée du Loing aux environs de Nemours. **Bull. S.P.F.**, LVIII, n° 3, pp. 8, 9, 10.

GURY M., DUCHAUFOUR Ph. (1972). — Relations entre les formations superficielles et la pédogenèse sur substratum calcaire. **Sc. du Sol**, 1, pp. 19-24.

JOLY F., DEWOLF Y., PINOT J.-P. (1969). — Livret guide excursion. **Congrès INQUA**, 1969.

MATHIEU C. (1971). — Contribution à l'étude des formations argileuses à silex de Thiérache (France). **Pédologie**, Gand, XXI, 1, 5-95.

MORAND F. (1966). — Observations géomorphologiques et pédologiques dans la région de Fontainebleau. **Bull. A.F.E.Q.**, n° 7, (2), pp. 120-138.

MORAND F. (1967). — Sur la couverture meuble des plateaux dans la région de Fontainebleau. **Bull. Inf. G.B.P.**, n° 13, pp. 221-223.

MORAND F., RIVELINE-BAUER J., TRICHET J. (1968). — Etude sédimentologique paléogéographique et géomorphologique de la Butte Chaumont (Champlan, Essonnes). **Bull. S.G.F.**, 7e sér., t. X, pp. 627-638.

ROBIN A.-M. (1974). — Une industrie moustérienne en forêt de Fontainebleau. **Bull. Soc. Préhist. Fr.**, t. 71, C.R.S.M. n° 3.

STOOPS G., MATHIEU C. (1970). — Aspects micromorphologiques des argiles à silex de Thiérache. **Sci. du Sol**, 2, pp. 103-116.